

Identificación y cuantificación de parámetros geológicos para la zonificación de eventos aluvionales en mendoza: resultados del primer año

H. A. Cisneros^{1,2} y M. N. Ahumada¹

Recursos humanos en formación: L. Peñas¹, T. Arce¹ y E. Castañón¹

¹Universidad Juan Agustín Maza

²Universidad Nacional de Cuyo
cisneros@unsl.edu.ar

Resumen

El Gran Mendoza es una de las regiones de la República Argentina que presentan alta ocurrencia de peligro aluvional, entendiéndose éste como aquel proceso de remoción en masa (llamado técnicamente "inundación de detritos" o *debris flood*). Al producirse este fenómeno en forma extraordinaria por una conjunción de elementos climáticos, hidrológicos y geológicos, ocasiona severos daños que pueden llegar a ser catastróficos. Se presenta en esta oportunidad el avance generado por el proyecto homónimo a este trabajo en su primer año, donde se evidencia la necesidad de tener en cuenta este tipo de fenómeno en las actividades humanas y en la planificación de la prevención de sus efectos en el Gran Mendoza.

La zona de estudio se encuentra inserta en el piedemonte de la precordillera mendocina, planicie oriental de esta unidad geológica de aproximadamente ocho kilómetros de longitud, y de entre 4° y 11° de pendiente regular en escala megascópica, pero con enorme cantidad de anisotropías a escalas mayores, que le imprimen una complejidad apta para el desarrollo de este tipo de eventos.

La vinculación entre el ordenamiento territorial y la planificación para la reducción del riesgo aluvional se realiza debido a que, si bien es cierto que los procesos hídricos destructivos acompañan al hombre desde siempre, el advenimiento de la expansión urbana en todo el mundo con el incremento demográfico y el éxodo del campo a las ciudades son elementos sociales que han aumentado las consecuencias de estos fenómenos. Para eso, se presentarán cartografía SIG tendiente a la identificación, jerarquización y planificación medioambiental, y un plan de mitigación ante estos fenómenos, utilizando diferentes técnicas de clasificación y procesamiento digital de imágenes satelitales actuales. Los avances obtenidos se focalizan principalmente en la generación de cartografía raster (usando métodos con imágenes y DEM) a partir de digitalización de información obtenida por clasificación con árbol de decisiones y otros

ADI. También se efectuaron salidas de campo con diferentes resultados, los cuales serán expuestos en detalle.

Con este trabajo se pretende realizar un avance en la prevención de los efectos negativos que un proceso de flujo de alta densidad de consideración podría generar en el Gran Mendoza, más exactamente en la zona de Godoy Cruz, al suroeste de la Ciudad de Mendoza.

Se prevé además contribuir a la formación de recursos en investigación, provenientes específicamente de la carrera de Ingeniería en Agrimensura y de otras relacionadas a la temática (Geología y Gestión Ambiental).

Introducción

Con este estudio se pretendió abordar la problemática del desorden territorial en el piedemonte mendocino, ubicado al oeste de la Ciudad de Mendoza.

La densidad poblacional, la pobreza, la falta de políticas que aborden con seriedad el tema urbanístico, los riesgos de tipo natural, sobre todo los de origen pluvial, y el deterioro ambiental en el cual se encuentran los barrios marginales evidencian que existe una problemática y que debe ser abordada para encauzarla hacia un mejoramiento de las actuales condiciones.

Durante su desarrollo se relevaron las condiciones físicas, sociales y ambientales, determinando la vulnerabilidad del sector frente a riesgos geológico-hidrológicos.

Se aborda el tema de fenómenos naturales comenzando con una caracterización de los procesos de remoción en masa conocidos como inundación de detritos (*debris flood*). Además se detallan las características de los procesos aluvionales, comparando la situación existente en la zona con antecedentes de otros lugares de Argentina y el mundo.

Avanzando en el desarrollo, se hace necesario profundizar el análisis exclusivo de la cuenca Maure y la determinación de sus zonas de riesgo.

Finalmente se presentan propuestas de ordenamiento ambiental que, en la medida de lo posible, contribuirán a la reducción de la vulnerabilidad de esa importante zona del piedemonte mendocino.

Marco físico general

El Gran Mendoza, ubicado en lo que se conoce como oasis mendocino, es un conglomerado urbano formado por los departamentos de Capital, Las Heras, Guaymallén, Godoy Cruz, Maipú y Luján. El área de estudio comprende la unidad del piedemonte precordillerano de la Ciudad de Mendoza y está localizado en las coordenadas geográficas W69°00'-W68°50' y S32°48'-S32°54'.

Características climáticas locales

Para el análisis climático del piedemonte precordillerano del Norte de Mendoza se utilizan los aspectos climatológicos, como también los fenómenos meteorológicos más destacables (temperatura, amplitud térmica, precipitaciones, tormentas, granizo y viento Zonda). La información se obtuvo de las estadísticas elaboradas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), utilizando las estaciones Mendoza Aeropuerto y Mendoza Observatorio.

Temperatura: temperatura máxima absoluta: 44.4°C (estación Mendoza Aeropuerto, 30 de enero del 2003); temperatura máxima media: supera los 30°C en el período diciembre-enero; temperatura media: inferior a 25°C (con excepción del período diciembre-enero); temperatura mínima media: 2°C (durante los meses invernales), y temperatura mínima absoluta: no inferior a -10°C.

Amplitud térmica: los mayores valores anuales son de 40.8°C para la estación Mendoza Aeropuerto y de 39.1°C para la Mendoza Observatorio, mientras que los menores valores anuales se encuentran por encima de los 27°C en Mendoza Observatorio y de los 28°C en Mendoza Aeropuerto.

Precipitaciones: presentan un máximo en los meses de verano, lo cual está relacionado con el régimen de precipitaciones de tipo estival que responde a las tormentas originadas en nubes convectivas. Las precipitaciones medias anuales son de 236mm.

Tormentas y granizo: constituyen un tipo de fenómeno meteorológico de mesoescala considerado severo. Esto se debe a la formación de nubes de gran desarrollo vertical y nubes convectivas que adquieren características particulares, producto de la ubicación geográfica de la zona en estudio (a sotavento de la Cordillera y la Precordillera de los Andes). El período de mayor frecuencia de ocurrencia de tormentas es el comprendido entre octubre y marzo¹.

Vegetación

El piedemonte mendocino es el área comprendida entre la llanura mendocina y la Cordillera de los Andes, donde se encuentra vegetación típica de climas seco-desérticos, con temperaturas medias del mes más cálido iguales o mayores a 22°C e inviernos secos con pocas precipitaciones. Está ubicado en la Provincia Fitogeográfica Andina, y la vegetación se halla aproximadamente entre los 2.000msnm y los 4.000msnm, siendo las principales representantes las comunidades de *Larrea divaricata*, *L. cuneifolia*, *Artemisia mendozana*, *Zuccagnia punctata*, *Eupatorium buniifolium*, *Proustia cuneifolia*, *Cortaderia rudiuscula* y *Argemone subfusiformis*.

Estas especies son susceptibles al arrastre por corrientes hídricas, lo que permite que se extiendan y proliferen. Tienen la capacidad de formar matorrales en lugares donde se produce remoción de suelos y algunas pueden enraizarse unos metros, permitiendo que la retención de suelo sea muy efectiva. Para los trabajos de revegetación que se propondrán para las tareas de remediación se contempla principalmente el uso de especies autóctonas².

Características poblacionales

Es importante tener en cuenta que las principales cuencas hidrográficas se encuentran en las cercanías de la aglomeración urbana de Mendoza. La Ciudad de Mendoza fue planificada luego de la destrucción provocada por el terremoto de 1861, pero después del sismo de 1985 se produjo un gran avance poblacional hacia el piedemonte mendocino, lo cual cambió la morfología de la zona³. A partir de estos grandes cambios, la población comenzó a migrar hacia lugares como el piedemonte, al oeste de la provincia, sin tener mayores conocimientos de los riesgos latentes que presenta, ya que ahí existe una gran fragilidad natural debido a fallas sísmicas y pendientes pronunciadas, que junto con los cauces hídricos pueden provocar importantes aluviones y riesgo de erosión, entre otras contingencias. Además de darse esa gran expansión, la población optó simultáneamente por migrar a zonas de cultivo, llamadas oasis, lo que perjudica directamente la actividad agrícola.

Finalmente, la falta de planificación urbana trajo aparejado este tipo de movilización poblacional, donde es importante resaltar villas o asentamientos que se encuentran instalados hoy en día en zonas de gran vulnerabilidad.

Marco geológico

La zona de estudio se encuentra al sureste de la provincia geológica de Precordillera, en la vertiente oriental o piedemonte de la precordillera de Mendoza. Las unidades reconocidas por Sepúlveda⁴ comprenden edades de ordovícicas (zona de San Isidro) a cuaternarias. Las unidades mesozoicas se hallan principalmente en el área de Divisadero Largo y Papagayos, y las correspondientes al Neógeno, en el

Cerro de la Gloria, el Bordalesa y el Petaca, entre otros. Las unidades cuaternarias se encuentran expuestas como depósitos aterrazados y sedimentos que forman las bajadas y los aluviones recientes del piedemonte.

Era	Periodo/época		Formación	Características
Cenozoico	Holoceno		Depósitos coluviales y aluviales recientes	Depósitos de pie de sierra y bajadas actuales integrados por conos aluviales modernos que forman una planicie aluvial inclinada hacia el este.
	Neógeno	Pleistoceno Superior	Las Tunas	Asignada con dudas a la Formación Aeródromo. Se trata de fanglomerados, gravas, arenas y limos escasamente consolidados.
		Pleistoceno Superior	La Invernada	Constituye el segundo nivel piedemontano y aflora entre la cerrillada Bordalesa, De la Gloria y Petaca, y el frente de la precordillera.
		Pleistoceno Inferior	Los Mesones	Depósitos aterrazados piedemontanos gruesos (fanglomerados de origen aluvional).
		Plioceno Superior	Mogotes	Esta formación está constituida por rocas sedimentarias de ambiente continental, y aflora en la cerrillada de La Bodega, Del Cañaveral, Angostura, La Ramadita, De la Gloria, Puntilla, Pelota y Petaca.
		Mioceno	Volcanitas Cerro Melocotón	Aflora en los sectores elevados del cerro Melocotón. Son rocas andesíticas que por dataciones radimétricas han sido asignadas a un evento magmático del Mioceno.
		Mioceno Inferior	Mariño	Se trata de rocas sedimentarias clásticas y tobáceas aflorantes desde Divisadero Largo hacia el oeste y desde el flanco oeste de la cerrillada De la Gloria, Puntilla, Pelota y Petaca.
	Paleógeno	Oligoceno Inferior	Divisadero Largo	Se hallan principalmente en la zona oriental del piedemonte mendocino. Se trata de rocas de ambiente continental, interpretado como de sabhka continental.
Mesozoico	Cretácico		Papagayos	Está formada por rocas sedimentarias clásticas (conglomerados, areniscas y limolitas) y aflora principalmente en los arroyos Divisadero Largo y Papagayos.
	Triásico		Grupo Uspallata	Esta unidad se encuentra cubierta por la formación Papagayos en la zona de Divisadero Largo y también se halla aflorante hacia el sur del río San Isidro. Está integrada por rocas sedimentarias y piroclásticas.
Paleozoico	Carbonífero		Santa Máxima	Se halla al noroeste de la zona de estudio y está representada por rocas sedimentarias y piroclásticas.
	Devónico		Grupo Villavicencio	Se trata de rocas sedimentarias de ambiente marino y continental aflorantes en el flanco oriental de la precordillera, en contacto tectónico por falla con la formación Empozada en el área de San Isidro.
	Ordovícico		Empozada	Son rocas sedimentarias de ambiente de talud y cuenca profunda. Se encuentra aflorante en el área de la quebrada de San Isidro.

Estratigrafía del sector piedemontano precordillerano de Mendoza (modificado de Sepúlveda⁴).

Estructura

La región estudiada constituye una faja plegada y corrida, con múltiples orogenias de doble vergencia. Se ha dividido en tres sectores con características estructurales y tectono-estratigráficas distintas⁵: los sectores oriental y occidental de la precordillera, y el borde oriental del Cordón del Plata. La falla Villavicencio representa el límite entre los sectores oriental y occidental de la precordillera.

En el sector al occidente del piedemonte, la cuchilla del cerro Pelado se encuentra levantada por la falla Villavicencio, que es la estructura más importante de este sector especificado anteriormente, con un rumbo N-NE e inclinación con alto ángulo hacia el E-SE. Esta estructura separa dos áreas con diferentes paleogeografías y evoluciones estructurales. La geología del Paleozoico temprano al oeste de la falla involucra a las rocas metamórficas del Grupo Bonilla y de la formación Puntilla de Uspallata, mientras que al este afloran metasedimentitas clásticas y carbonáticas pertenecientes a las formaciones Cerro Pelado, Empozada y Villavicencio, con edades similares.

En lo que respecta a las deformaciones cuaternarias, las estructuras del sector se presentan a lo largo de tres fajas paralelas al frente de levantamiento precordillerano. La faja más distal corresponde a la falla Cerro La Cal y los anticlinales Borbollón y Capdeville, la faja intermedia abarca las fallas del Cerro de la Gloria y Divisadero Largo, y la faja más próxima al frente incluye la falla Melocotón. Esta última se expresa como una escarpa de falla en materiales holocenos, con ladera al este y unos 15 kilómetros de largo⁶. El estudio mediante trincheras revela que es una falla de bajo ángulo y con separación inversa, en la que el sustrato rocoso se desplazó 2,60 metros sobre limos eólicos no consolidados con restos de gasterópodos, datados en 38.000 años⁷.

En el flanco oriental del Cerro de la Gloria se reconocen fallas con vergencia oeste⁸. Según el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) [7], son dos fallas inversas de unos 15 kilómetros de longitud, subparalelas, de rumbo norte-sur a nor-noreste y buzamiento de alto ángulo al este (fallas del Cerro de La Gloria-Cerro del Cristo). Milana y Zambrano⁹ calcularon para la falla oriental un rechazo vertical de aproximadamente 17 metros. En trincheras realizadas por el INPRES, se midieron en la superficie de la falla occidental 60 centímetros de desplazamiento de ese mismo glacis. Estos autores identificaron depósitos de barreal al pie occidental del cordón de la Gloria debidos al endicamiento de corrientes piedemontanas producidas por el ascenso del bloque del techo. Inmediatamente al oeste, en el arroyo Divisadero Largo, otra falla longitudinal pone en contacto rocas triásicas y sedimentos cuaternarios [8]. Asimismo, hacia el sur-suroeste, Bastías et al.¹⁰ indicaron otra falla cuaternaria extensa en el sector piedemontano, llamada Punta de Agua.

Suelos

De acuerdo con el Mapa de Clasificación Taxonómica de Suelos de la Provincia de Mendoza¹¹ realizado con datos del INTA de 1990, y según el sistema del Soil Taxonomy de Soil Survey Staff, de 1975, en el área de trabajo se desarrollan suelos de los órdenes entisoles (de escaso desarrollo) y aridisoles (de climas áridos).

Principalmente, en la zona piedemontana del oeste de la ciudad de Mendoza se hallan torrifluventes típicos, torriortentes típicos y paleórtides típicos.

Los torrifluventes son aquellos entisoles desarrollados sobre sedimentos recientes depositados por ríos. Los torriortentes se encuentran en zonas áridas, frías o cálidas con régimen de humedad tórrico, y están sobre pendientes moderadas a fuertes. Los paleórtides son aridisoles con un horizonte o capa fuertemente cementada, constituida predominantemente por carbonato de calcio.

Los edafoclimas o "climas del suelo" del área de trabajo son principalmente aquellos desarrollados bajo regímenes de humedad arídicos (con un marcado déficit de humedad en el suelo durante la mayor parte del año) y ústicos (con un déficit moderado y precipitaciones monzónicas). Este último ha sido identificado principalmente en el sector apical y medio del piedemonte de la provincia geológica de Precordillera.

Planteamiento del problema

El área de estudio se ubica entre el sector Sur del departamento de Las Heras y el Norte del departamento de Luján de Cuyo, de la provincia de Mendoza. Se encuentra delimitada al oeste por la divisoria de aguas de la precordillera, al este por el cauce del río Mendoza, al sur el límite de la precordillera y al norte por la cuenca del arroyo La Crucecita. Es un sector de dominio natural, que presenta modelado montañoso con alturas máximas de 3.000msnm en la precordillera. Ahí existen cursos de agua temporarios que presentan algunas crecidas torrenciales en épocas estivales, las que desembocan en el único curso de agua permanente del sector: el río Mendoza.

El área de estudio se encuentra inserta en un dominio morfoclimático semiárido, donde la vegetación es escasa, existen grandes pendientes y son frecuentes los eventos de precipitación intensa en época estival, situación que genera distintos tipos de amenazas naturales. A estas amenazas naturales externas se suma la frecuencia de eventos sísmicos, que aumenta el riesgo potencial para la vida humana.

Es evidente que, por la constitución actual del territorio en el área de estudio, la ocurrencia de eventos de remoción en masa no ha sido considerada durante la ocupación, situación que puede ser explicada por

la ausencia de planificación a niveles institucionales. Esta debilidad a nivel institucional incrementa la vulnerabilidad, por la ausencia de una planificación territorial adecuada a condiciones físicas especiales. Es importante mencionar que la vulnerabilidad en este estudio, a diferencia de otros, no trata sobre poblaciones que estén debajo de la línea de pobreza, como comúnmente ocurre en estudios de riesgo, sino que predomina una diversidad entre un nivel adquisitivo alto a medio.

Un ejemplo claro de la existencia de zonas de riesgo se ve reflejada en la ubicación de viviendas localizadas a escasos metros de terrazas del río Mendoza, convirtiéndose estos terrenos en sitios poco estable e incrementando su vulnerabilidad ante la presencia de amenazas naturales.

Si bien Laveli Alan menciona que en la actualidad existen estudios sobre amenazas naturales, amenazas socionaturales, antrópico-contaminantes y antrópico-tecnológicas, esta investigación se centrará en identificar sólo las amenazas naturales. A pesar de que hay una creciente intervención humana en el área de estudio, aún prevalece el dominio del ambiente natural.

Análisis de los factores condicionantes

En el área de estudio se procederá a realizar un análisis morfométrico de las cuencas teniendo en cuenta los principales parámetros para la descripción de su comportamiento, como perímetro (m), área (km²), altura media de la cuenca (m). Además se tendrán en cuenta los parámetros más específicos. A continuación se analizarán los factores que condicionan los movimientos en masa, para lograr una comprensión sistémica de los fenómenos, considerando lo siguiente:

Red de drenaje: se abordó teniendo en cuenta la pendiente y el Índice de Compacidad de Gravelius, que permite saber a partir de la forma de la cuenca (redonda u ovalada) el tiempo que tarda en llegar la onda de crecida a la desembocadura, información que posibilita inferir la capacidad erosiva de la crecida. Este índice se calcula a partir de esta fórmula:

$$I_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

I_c es el Índice de Compacidad, P es el perímetro de la cuenca, S es la superficie de la cuenca y 0,28 es la constante de Roché (1963).

Densidad de drenaje de Horton: considerando que una alta densidad de drenaje aumenta el caudal máximo de las crecidas al haber una menor infiltración en esas cuencas, se realizaron interpretaciones de imágenes satelitales con software gratuito y ob-

servación directa en el terreno para determinar las dimensiones de los lechos fluviales existentes. Se calculó además el coeficiente de torrencialidad, que se asocia a los procesos de erosión y a la capacidad de descarga de la cuenca, donde altos valores dan elevada susceptibilidad a la erosión, menor tiempo de llegada al pico y alta torrencialidad. Se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Coeficiente de torrencialidad} = \frac{N^{\circ} \text{ de cursos de agua de } 1^{\circ} \text{ orden}}{\text{superficie de cuenca (km}^2\text{)}}$$

Pendiente media del cauce: permite describir cómo el cauce de una cuenca influye directamente sobre la velocidad del flujo. Se calcula de la siguiente manera:

$$J_c = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \cdot 100$$

J_c es la pendiente media del cauce (%), H_{max} es la altitud máxima del cauce (m), H_{min} es la altitud mínima del cauce (m) y L es la longitud del cauce principal (m).

Geomorfología y pendiente media de la cuenca: es un índice que sintetiza la pendiente de una cuenca. Su cálculo es importante porque a través de la velocidad del escurrimiento influye en el tiempo de concentración.

Para el estudio de la dinámica de una cuenca se hace referencia a la pérdida de agua y los retardos en el escurrimiento, para lo que es fundamental tener en cuenta condicionantes como la cubierta vegetal y el tipo de suelo. Se establecen rangos de pendiente según umbrales morfodinámicos basados en Araya y Börgel [12], que serán analizados como umbrales desencadenantes de procesos:

Pendientes		Concepto	Umbral geomorfológico
Grados	% aprox.	Pendiente	
2 - 5	4,5 - 11	Suave	Erosión débil, erosión difusa e inicio de regueras.
5 - 10	11 - 22	Moderada	Erosión moderada a fuerte, inicio de erosión lineal y desarrollo de regueras.
10 - 20	22 - 44,5	Fuerte	Erosión intensa, erosión lineal frecuente y cárcavas incipientes.
20 - 30	44,5 - 67	Muy fuerte a moderadamente escarpada	Cárcavas frecuentes y movimientos en masa.
30 - >de 45	67 - >de 100	Muy escarpada a acantilada	Inicio de derrubiación, desprendimientos y derrumbes, Corredores de derrubios frecuentes.

Umbrales morfodinámicos.

Umbrales morfodinámicos.

En cuanto a la geomorfología del área de estudio, fue estudiada a partir de análisis de imágenes satelitales y de relevamiento en campo. Se realizó cartografía que detalla no sólo las geoformas dominantes, sino también las zonas con existencia de movimientos en masa. Además se estudiaron las terrazas antiguas y actuales del río Mendoza, y los barrancos de las quebradas, para determinar zonas con probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa.

Pérdida de vegetación: se da por incendios, eventos muy recurrentes en el piedemonte mendocino. Para eso se tuvieron en cuenta las actividades antrópicas (recreativas, deportivas y de ocio) como uno de los factores desencadenantes de posibles focos de incendios, ya que el valor paisajístico, la accesibilidad y las costumbres de los pobladores del lugar generan un ámbito propicio para el uso frecuente del fuego. Por eso se identificaron, a partir de cartografía, zonas que han sufrido pérdida de vegetación por incendios, teniendo en cuenta los factores condicionantes como el estudio de las formaciones vegetales, para determinar la posibilidad de propagación del fuego en caso de un evento, y el análisis de las condiciones climáticas locales, abordadas desde las condiciones topoclimáticas, mediante el uso del Modelo Digital de Elevación (MDE) y de los registros meteorológicos, donde la densidad de cobertura vegetal mitiga en gran parte los movimientos en masa con la retención del suelo lograda con sus raíces y la intercepción de lluvias con su follaje, lo que permite atenuar la erosión superficial. Para su estudio se calculará el Índice Normalizado de Diferencias Vegetacionales (NDVI o Normalized Difference Vegetation Index) a partir de imágenes Landsat TM. Finalmente se realizaron modelos digitales de elevaciones, donde se obtuvieron valores de altitud y exposición del área de estudio en base a curvas de nivel con equidistancia cada 50 metros, que sirvieron para la identificación de los umbrales de desencadenamiento de procesos, principalmente gravitacionales, y para la descripción y el análisis geomorfológico de la cuenca.

Factor litológico: se estudió a partir de la interpretación de observación directa y de una caracterización general del tipo de suelo dominante en el área de trabajo, analizando su proceso de formación, teniendo en cuenta formaciones geológicas generales y determinando los materiales más propensos a ser erosionados o a desencadenar otro tipo de proceso geomorfológico.

A partir de una metodología cualitativa se analizaron todos los condicionantes considerados para este estudio. La finalidad es la elaboración de un mapa de amenazas. Para eso será necesario representar cartográficamente cada una de los condicionantes, dándoles un peso que represente el grado de susceptibilidad. Esto significa determinar la probabilidad de que un condicionante favorezca más o menos a la ocurrencia de algún tipo de movimiento en masa.

Finalmente se realizarán configuraciones espaciales unificando los valores de peso y generando clases de valores de riesgo para representar cartográficamente.

Factores desencadenantes

Un factor desencadenante de movimientos en masa que se analizará es la actividad sísmica, que estudiará la identificación y distribución espacial de los sismos según la magnitud y la profundidad⁷.

Otro factor desencadenante que se tuvo en cuenta es la intensidad de las precipitaciones, considerando que eventos de $\geq 6,6\text{mm}/24$ horas desencadenan movimientos en masa en ambientes áridos como es el caso del piedemonte de Mendoza. Este umbral se tuvo en cuenta para estimar la posibilidad de ocurrencia de movimientos en masa.

Análisis de vulnerabilidad

Una vez estudiadas las amenazas naturales, se prosigue con el análisis de la vulnerabilidad del área de estudio, para lo cual se tienen en cuenta dos variables que hacen referencia a los elementos físico-estructurales y los aspectos socioeconómicos de los habitantes del área de estudio, más las instituciones a cargo de la planificación y organización del lugar.

Vulnerabilidad físico estructural: para esta variable se localizaron las infraestructuras a partir de la interpretación de imágenes satelitales y el relevamiento, para determinar cuáles se encuentran cercanas o sobre amenazas naturales. Posteriormente se clasificarán según tipos, en los casos en que su localización esté en riesgo, dependiendo de la cercanía al área de influencia de las terrazas fluviales y de los barrancos de las quebradas. Es así que se seleccionarán estas construcciones como vulnerables, teniendo en cuenta sus características intrínsecas. En segundo lugar se estudia si el código de edificaciones municipal contempla restricciones en áreas con amenazas, además de verificar en el terreno el tipo y el material de las construcciones, para poder establecer niveles de vulnerabilidad en la población. Finalmente, a partir de un análisis de los registros socioeconómicos de los municipios se evaluará el acceso a los servicios, lo que en caso de una amenaza ayudará a estipular las ventajas con las que cuenta la población residente.

Vulnerabilidad socioeconómica: para esta variable se estudió la debilidad institucional, para lo cual se necesita corroborar si existen organización y compromiso político por parte del municipio, información que será recabada a partir de entrevistas claves a profesionales de la Dirección de Planificación Urbana. Posteriormente se analizaron los indicadores sociales considerados en el último Censo Nacional, para obtener un diagnóstico del nivel socioeconómico de la población residente en el área de estudio y de esa manera determinar sectores de alto, media-

no o bajo nivel adquisitivo. Para concluir, se generó un mapa de vulnerabilidad donde se consideraron aquellas infraestructuras que se vean afectadas por algún tipo de movimiento en masa, otorgándoles un peso según la probabilidad de ser dañadas.

Análisis de riesgo

Como último paso, se realizó una cartografía final de riesgo. Para eso se tiene en cuenta que el riesgo es el producto de la amenaza por la vulnerabilidad.

Propuestas y conclusiones

Medidas importantes a promover: fomentar en la población el sentido de solidaridad en relación con los desperdicios con los vecinos de áreas que se encuentran aguas abajo, identificar los problemas que hay en las diferentes zonas, interiorizarse de estudios que hay en la provincia de Mendoza, alentar y promover la gestión de obras hidráulicas, y aumentar la superficie irrigada, fomentando una superficie tipo parque, con el fin de evitar el escurrimiento superficial.

Debido a fenómenos pluviométricos de corta duración temporal, gran intensidad y volumen de agua liberado, se generan los procesos de debris flood (enmarcado como un fenómeno de remoción en masa), transportándose material a través del piedemonte de la Ciudad de Mendoza. El levantamiento de algunas estructuras de edad cuaternaria (como la falla Divisadero Largo) genera endicamiento sobre uno de los ríos, alterando su cauce y generando que sectores con alto grado de población se vean afectados por eventos de DF. La vegetación existente en el sector es parcial y de poca altura, por lo que el evento de remoción en masa presenta un disparador importante al momento de su ocurrencia. Las cuencas analizadas son de evacuación de sedimentos de una importante magnitud, sobre las cuales se asientan las obras de defensa aluvional del sector noroeste del piedemonte. Estas obras ingenieriles brindan protección parcial de la población que resguardan.

La creciente población en el área, predominando clases sociales indigentes y bajas por encima de clase media y alta, introduce un disparador de vulnerabilidad muy alto, por lo que si se aplica el concepto de riesgo (amenaza por vulnerabilidad) se aprecia un escenario de alto riesgo en los sectores medios a proximales del área analizada.

Bibliografía

¹Capitanelli, R. (1972). Geomorfología y clima de la provincia de Mendoza. Pp.15-48, en Geología, Geomorfología, Climatología, Fitogeografía y Zoogeografía de la Provincia de Mendoza. Reedición especial del Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 8. Editorial Roig.

²Vich, A. y Pedrani, A. (eds.) (1993). Programa de Investigación y Desarrollo: manejo ecológico del piedemonte. Ministerio de Medio Ambiente, Urbanismo

y Vivienda-CRICYT. Unidad de manejo Ecológico de Cuencas. Mendoza.

³Abraham, E.; Roig, F.; Ibáñez, G.; Salomón, M. y Llorens, R. (2002). Aptitud urbana del piedemonte al oeste del Gran Mendoza. IX Jornadas Cuyanas de Geografía.

⁴Sepúlveda, E. (1998). Hoja Geológica Mendoza, 3369-II. Programa Nacional de Cartas.

⁵Folguera, A.; Etcheverría, M.; Pazos, P.; Giambiagi, L.; Cortés, J. M.; Fauqué, L.; Fusari, C. y Rodríguez, M. F. (2004). Descripción de la Hoja Geológica Potrerillos (1:100.000). Subsecretaría de Minería de la Nación, Dirección Nacional del Servicio Geológico. P. 262. Buenos Aires.

⁶Costa, C.; Cisneros, H.; Bea, S.; Gardini, C.; Pérez, I. y Pérez, M. (2002). Peligro sísmico. En Carta de Peligrosidad Geológica 3369-II. Mendoza. Provincias de Mendoza y San Juan. Subsecretaría de Minería de la Nación y Servicio Geológico Minero Argentino, Mendoza.

⁷INPRES (1995). Microzonificación sísmica del Gran Mendoza. Instituto Nacional de Prevención Sísmica. Resumen ejecutivo. Publicación Técnica N°19, P. 269. San Juan.

⁸Rodríguez, E. J. y Barton, M. (1990). Geología del piedemonte al oeste de la Ciudad de Mendoza. X Congreso Geológico Argentino. Actas 1: 460-463.

⁹Milana, J. P. y Zambrano, J. J. (1996). La cerrillada piedemontana mendocina: un sistema geológico retrocorrido en vías de desarrollo. Asociación Geológica Argentina. Revista N°51 (4): 289-303.

¹⁰Bastías, H.; Tello, G. E.; Perucca, J. L. y Paredes, J. D. (1993). Peligro sísmico y neotectónica. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos. En Ramos, V.A. (eds.): Geología argentina y recursos naturales de Mendoza. Relatorio 6-1: 645-658.

¹¹Regairaz, M. (2000). Los suelos en la provincia de Mendoza. En Atlas básico de recursos de la Región Andina argentina. Capítulo "Provincia de Mendoza". E. Abraham y F. Rodríguez. M. Coordinadores. Junta de Andalucía. España.

¹²Araya, J. y Börgel, R. (1972). El uso de la carta 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar en la confección de unidades geográfico-físicas. Primer Simposio Cartográfico Nacional, Instituto Geográfico Militar. Pp. 263-269.